

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 748 773 A2

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
18.12.1996 Patentblatt 1996/51

(51) Int. Cl.<sup>5</sup>: C03B 5/24, C03B 5/235

(21) Anmeldenummer: 96108994.3

(22) Anmeldetag: 05.06.1996

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH DE ES FR GB IT LI NL

(72) Erfinder: Pieper, Helmut, Dipl.-Ing.  
97816 Lohr am Main (DE)

(30) Priorität: 13.06.1995 DE 19521513

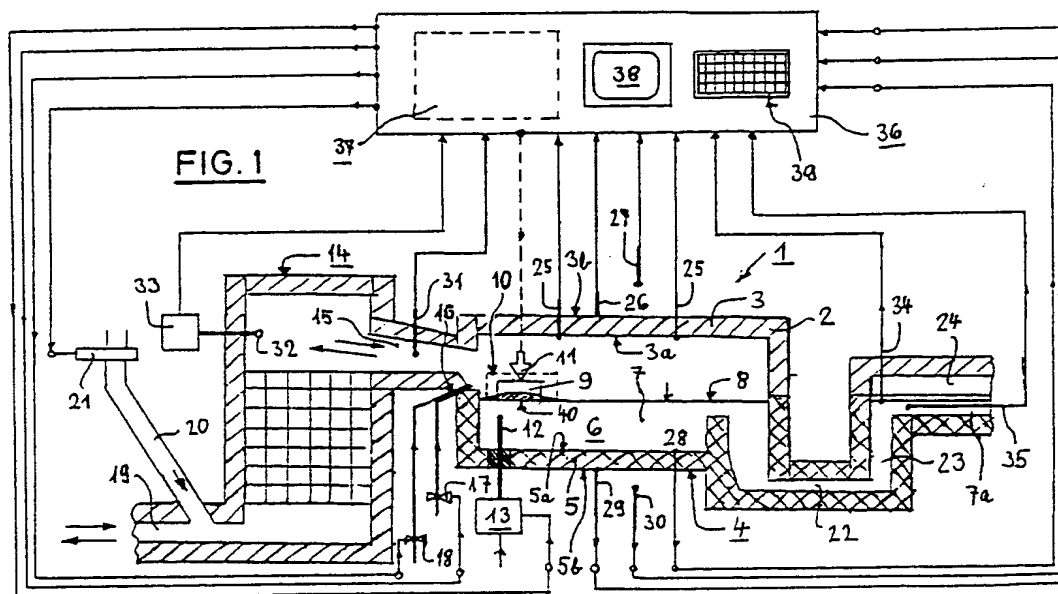
(74) Vertreter: Zapfe, Hans, Dipl.-Ing.  
Postfach 20 01 51  
63136 Heusenstamm (DE)

(71) Anmelder: Beteiligungen Sorg GmbH & Co. KG  
D-97816 Lohr (DE)

## (54) Verfahren zur Regelung der Beheizung von Glas-Wannenöfen

(57) Zum Regeln der Beheizung von Glas-Wannenöfen (1), die einen Oberofen (2) mit mindestens einem Brenner (16) und einen Unterofen (4) aufweisen und in denen aus Chargiermaterial (40) eine Glasschmelze (7) mit einem Schmelzenspiegel (8) gebildet und daraus abgezogen wird, wird zum Zwecke einer Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades und der Glasqualität laufend aus schmelztechnischen Daten und konstruktionsbedingten thermischen Daten des Glas-Wannen-

ofens (1) eine Wärmestromdichte durch den Schmelzenspiegel (8) sowie eine Einzelwärmebilanz (Istwert) des Unterofens (4) ermittelt. Diese Wärmestromdichte wird laufend mit einem Sollwert für die Einzelwärmebilanz des Unterofens (4) verglichen, und die Abweichungen zwischen Sollwert und Istwert werden durch Anpassung der Wärmestromdichte laufend auf einen kleinstmöglichen Wert ausgeregelt.



EP 0 748 773 A2

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung der Beheizung von Glas-Wannenöfen mit einem Oberofen und einem Unterofen, in dem aus Chargiermaterial eine Glasschmelze mit einem Schmelzenspiegel gebildet und daraus  
 5 abgezogen wird, mit mindestens einem dem Oberofen zugeordneten Brenner, durch den eine zum Schmelzen erforderliche Energiemenge eingebracht wird, wobei Temperaturen und Mengen von Brennstoff, Verbrennungsluft und Beschickungsgut und Wärmemengen der Glasschmelze bestimmt werden.

Sowohl das Chargiermaterial als auch die daraus gebildete Glasschmelze sind problematische Stoffe. Das Aufschmelzverhalten des zunächst auf der Glasschmelze schwimmenden Chargiermaterials ist sehr stark von dessen  
 10 Zusammensetzung abhängig. Das Chargiermaterial neigt zur Schaumbildung und hat eine schlechte Wärmeleitfähigkeit. Auch die Glasschmelze selbst hat eine ungünstige Wärmeleitfähigkeit, was zur Ausbildung von Temperaturgradienten und Viskositätsunterschieden und damit zu unterschiedlich verteilten Strömungsgeschwindigkeiten führt. Problematisch ist dabei insbesondere, daß der Wärmebedarf der im Unterofen, im sogenannten Bassin, befindlichen Glasschmelze durch den Wärmetransport durch den Schmelzenspiegel hindurch gedeckt werden muß, wenn man  
 15 nicht im Unterofen Heizelektroden vorsieht, die mit Elektroenergie versorgt werden müssen. Daraus resultieren folgende Probleme, die der Fachwelt bekannt sind:

Glasschmelzwannen haben in ihrer Regelcharakteristik eine sehr große Totzeit, die das Ausregeln äußerst schwierig gestaltet. Die Summe der Einflußgrößen, die die Änderung der Glasbadtemperatur, die Durchlaufzeit und die Qualität des Glases bestimmen, sind so vielfältig und ihre Wirkungen aufeinander sind so komplex, daß mit den  
 20 Einzelregelungen, die jeweils nur einzelne Betriebsparameter der Wanne konstant halten, keine konstante Wannenfahrrweise ermöglicht wird.

Periodische Schwankungen von Störgrößen, wie Scherbenmenge, Scherbenqualität und Entnahmemenge können im Zeitverlauf von mehreren Tagen schwanken, so daß sich ihre Wirkungen über Tage hinweg addieren können, was ihre Ausregelung mit herkömmlichen Reglern äußerst schwierig gestaltet.

Ein wesentlicher Störfaktor für den Betrieb der Wanne ist die Schaumbildung auf der Glasbadoberfläche, die unter bestimmten Bedingungen auftritt. Die Schaumbildung ist einmal von der Gemengezusammensetzung, vom Verhältnis Gemenge/Scherben und vom Verhältnis der unterschiedlichen Scherben zueinander bzw. deren  $\text{SO}_3$ -Gehalt abhängig. Gläser mit unterschiedlichen  $\text{SO}_3$ -Gehalten reagieren unter Schaumbildung während des Schmelzens miteinander. Die hohen Recyclingraten, insbesondere bei Hohlglas, haben dazu geführt, daß Mischscherben unterschiedlichster  
 30 Herkunft eingesetzt werden, deren Schaumbildungspotential nicht vorausgesagt werden kann.

Weiterhin wird die Schaumbildung durch die Redox-Bedingungen sowohl im Gemenge als auch in der Flamme beeinflusst, d.h., jede Änderung des Verhältnisses Brennstoff/Luft und der Flammenlage über dem Schmelzenspiegel führt zu unterschiedlicher Schaumbildung. Dieser auf dem Schmelzenspiegel auftretende Schaum isoliert die Glasschmelze gegen die Flammenstrahlung, so daß die Wärmestromdichte vom Oberofen in den Unterofen sowie in die  
 35 Glasschmelze ständigen Schwankungen unterworfen ist.

Durch die US-PS 4,405,351 und den Aufsatz von T. H. Finger "Digital Control of Glass Manufacture" in GLASS INTERNATIONAL, März 1979, S. 65 bis 71, ist es bekannt, Gastemperaturen in der Wanne und Gastemperaturen unter der Ofendecke zu messen, mittels Koeffizienten quantitativ und qualitativ zu bewerten und zu regelungstechnischen Zwecken erforderlichenfalls miteinander zu verknüpfen. Dadurch sollen die Energiezufuhr zum Oberofen und der  
 40 Wärmestrom in die Glasschmelze geregelt werden. Ein außerordentlicher Schwachpunkt ist hierbei die Beeinflussung durch die Temperaturmessungen in der Glasschmelze, was nachstehend näher erläutert wird:

Messungen der Glasbadtemperatur im Unterofen bringen keine brauchbaren Ergebnisse, weil die hierfür erforderlichen Temperaturfühler nur am Boden des Bassins eingebaut werden können. Eine Änderung des Wärmetransports durch den Schmelzenspiegel führt erst nach Stunden zu einer Temperaturänderung am Boden des Bassins und damit erst nach Stunden zu einem Regeleingriff. Die Schaumbedingungen können sich aber nach Stunden schon wieder grundlegend geändert haben, so daß eine Temperaturregelung, die auf Temperaturfühlern in der Glasschmelze basiert, zu einem Aufschaukeln des Regelverhaltens führt.

Analoge Überlegungen gelten für den Fall einer Temperaturregelung, bei der die Temperatur im Oberofen als Führungsgröße herangezogen wird. Die betreffenden Temperaturfühler werden in dem Augenblick, in dem eine Schaumbildung auf der Glasschmelze stattfindet, eine höhere Temperatur anzeigen, weil der Schaum einen erheblichen Anteil der Energie der Flamme gegen das Gewölbe des Bassins zurückstrahlt. Die Folge ist, daß die Glasbadtemperatur beim Auftreten vom Schaum fällt, obwohl die Temperaturanzeige am Gewölbe ansteigt. Eine Temperaturregelung wäre in diesem Fall absolut kontraproduktiv, weil eine Verringerung der Energiemenge die Glasbadtemperaturen noch weiter absinken lassen würde.

Eine weitere bekannte Möglichkeit, nämlich eine sogenannte Festwertregelung, d.h., eine Regelung, die die Luft- und Brennstoffmengen entsprechend der zu schmelzenden Menge des Chargiermaterials konstant hält, kann den Einfluß der Schaumbildung auf der Schmelzbadoberfläche nicht berücksichtigen und führt damit zu ständig wechselnden Temperaturen in der Glasschmelze und damit zu Qualitätsschwankungen im Glas, welches aus dem Durchlaß des Wannenofens abgezogen wird.

In der Praxis wird daher aus Sicherheitsgründen so verfahren, daß die dem Wannenofen zugeführte Energiemenge so hoch gewählt wird, daß selbst beim Auftreten von Schaum auf der Glasbadoberfläche der Wärmetransport durch diese hoch genug bleibt, um die erforderliche Qualität des Glases zu garantieren. Dies führt aber dazu, daß bei geringerer Schaumbildung die Temperatur im Glasbad und damit auch die Temperatur des Glases am Einlauf in eine Arbeitswanne oder in einen Verteilerkanal ansteigt. Diese Verfahrensweise führt einerseits zu einem höheren Energieverbrauch, als dieser theoretisch notwendig wäre, und andererseits zu ständig wechselnden Temperaturen im Einlauf der Arbeitswanne oder des Verteilerkanals, wodurch das Ausregeln der Temperaturabweichungen in der Arbeitswanne, im Verteilerkanal und in den Vorherden deutlich erschwert wird.

Um diese Schwierigkeiten zu verringern, ist es bekannt, Wannen bzw. Bassins mit elektrischen Zusatzbeheizungen auszurüsten, da die elektrische Energie mit einem Wirkungsgrad von nahezu 100 % über Heizelektroden in die Glasschmelze eingeleitet werden kann. Mit solchen Zusatzbeheizungen gelingt es, die Mindesttemperaturen aufrechtzuerhalten, die zu einer akzeptablen Qualität des Glases führen. Da die elektrische Energie jedoch wesentlich teurer als die fossile Energie ist, gestaltet sich eine solche Fahrweise eines Glas-Wannenofens sehr kostenintensiv.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Regelverfahren der eingangs beschriebenen Gattung dahingehend zu verbessern, daß der thermische Wirkungsgrad der gesamten Anlage verbessert, aber auch die Glasqualität am Auslauf der Wanne bzw. des Bassins in engen Grenzen konstant gehalten werden kann.

Die Lösung der gestellten Aufgabe erfolgt bei dem eingangs angegebenen Regelverfahren erfindungsgemäß dadurch, daß laufend aus schmelztechnischen Daten und konstruktionsbedingten thermischen Daten des Glas-Wannenofens eine Wärmestromdichte durch den Schmelzenspiegel berechnet wird, wobei

a) zunächst ständig eine Gesamtwärmebilanz für den gesamten Ofen errechnet wird,

b) von in der Gesamtwärmebilanz enthaltenen und errechneten Wand-, Kühl- und Leckverlusten die ofenbedingten, nahezu unveränderlichen Wand- und Kühlverluste des Unterofens abgezogen werden,

c) aus einer Wärmebilanz des Oberofens ein Istwert für den Wärmestrom berechnet wird, der an die Glasschmelze übergeben wird,

d) aus einer Wärmebilanz des Unterofens ein Sollwert für den Wärmestrom errechnet wird, der an die Glasschmelze übergeben und der ständig mit dem unter c) genannten Istwert für den Wärmestrom verglichen wird, und daß

e) die Differenz der beiden Werte durch Änderung der Energiezufuhr verzögerungsfrei auf einen kleinstmöglichen Wert ausgeglichen wird.

Mit dem erfindungsgemäßen Regelverfahren ist es möglich, bei kleinstmöglichem Energiebedarf einen größtmöglichen Gleichförmigkeitsgrad hinsichtlich Temperatur und Zusammensetzung der aus dem Glas-Wannenofen abgezogenen Glasschmelze zu erzielen.

Zum besseren Verständnis der Zusammenhänge werden die wesentlichsten schmelztechnischen und thermischen Daten des Glas-Wannenofens wie folgt angegeben:

Zu diesen Daten gehören:

- die Brennstoffmenge
- der Heizwert des Brennstoffs
- die Verbrennungsluftmenge, aufgeteilt in Sekundär- und Primärluft
- die Vorwärmung der Verbrennungsluft
- die Abgastemperatur
- der O<sub>2</sub>-Gehalt im Abgas
- die Zusammensetzung des Chargiermaterials und dessen Temperatur
- der Gemengeanteil
- dessen Zusammensetzung
- der Scherbenanteil
- dessen Zusammensetzung
- der Feuchtigkeitsgehalt (Verdampfungswärme)
- die Schmelzwärme
- der Glasdurchsatz
- die Glasktemperatur im Durch- bzw. Auslaß

- eine etwa zugeführte elektrische Leistung
- die Außenwandtemperatur des Unterofens und
- die Umgebungslufttemperatur des Unterofens.

Die betreffenden Daten bzw. Parameter stehen jederzeit zur Verfügung, und zwar entweder durch Berechnung und/oder Messung, wobei die Messungen entweder kontinuierlich oder in kurzen Intervallen durchgeführt werden können, also quasi-kontinuierlich. Daraus lassen sich Wärmebilanzen für den gesamten Ofen, für den Oberofen einerseits und für den Unterofen andererseits erstellen. Bedingt durch die hohen Rechnergeschwindigkeiten eines normalen PCs liegt der Wert der Istwertabweichung vom Sollwert ständig vor und kann zur Regelung der Energiemenge extrem kurzzeitig herangezogen werden, und zwar sowohl zur Regelung der Menge der fossilen Energie als auch gegebenenfalls der elektrischen Energie zum Unterofen. Da die genannten Meßwerte verzögerungsfrei vorliegen, ist stets der genaue Wärmestrom vom Oberofen zum Unterofen durch den Schmelzenspiegel bekannt und kann verzögerungsfrei in Richtung auf den Sollwert ausgeregelt werden. Der Schmelzenspiegel ist dabei gewissermaßen die Bezugsebene für den Wärmestrom. Die Differenz zwischen beiden Werten ist die Regelabweichung.

Es geht, wohlgemerkt, nicht um die Messung der Temperatur der Glasschmelze in der Wanne und um die Beeinflussung der Regelung durch eine solche Temperaturmessung, die nur um Stunden verzögert Meßwerte liefern würde, sondern um die Messung sofort verfügbarer Istwerte und deren rechnerische Auswertung und Verknüpfung mit zumindest weitgehend über lange Zeiten konstanten und aus dem Verfahrensablauf bekannten oder gemessenen Größen.

So berechnet sich beispielsweise die Wärmebilanz des Oberofens wie folgt:

$$Q_{GB} = Q_B + Q_A - Q_{WLKO} - Q_X \quad (1)$$

wobei:

- $Q_{GB}$  = Wärmestrom vom Oberofen zum Bassin
- $Q_B$  = Brennstoffmenge
- $Q_A$  = Enthalpie der Verbrennungsluft
- $Q_{WLKO}$  = Summe aller Wand-, Leck- und Kühlverluste des Oberofens
- $Q_X$  = Enthalpie des Abgases beim Verlassen des Ofens.

Die Wärmebilanz des Unterofens bzw. Bassins läßt sich wie folgt berechnen:

$$Q_{GB} = Q_C + Q_{el} - Q_{GLAS} - Q_{WKB} - Q_E \quad (2)$$

wobei:

- $Q_C$  = Enthalpie des Chargiermaterials
- $Q_{el}$  = elektrische Heizleistung
- $Q_{GLAS}$  = Enthalpie des Glases beim Verlassen des Bassins (Solltemperatur ist vorgegeben)
- $Q_{WKB}$  = Wand- und Kühlverluste des Bassins
- $Q_E$  = endotherme Schmelzwärme und Energie zum Zersetzen von Karbonaten und zur Bildung von Silikaten.

Von besonderer Bedeutung ist hierbei das Merkmal b): Wand-, Kühl- und Leckverluste des Oberofens lassen sich kaum direkt und kurzfristig erfassen, sehr wohl aber die über lange Zeit konstanten und auch sofort berechenbaren Wand- und Kühlverluste des Bassins. Daraus ergibt sich nun:

$$Q_{WLKO} = Q_{WLK} - Q_{WKB} \quad (3)$$

wobei:

- $Q_{WLK}$  = Summe aller Wand-, Leck- und Kühlverluste des gesamten Ofens.

Diese wiederum lassen sich wie folgt berechnen:

$$Q_{WLK} = Q_B + Q_A + Q_C + Q_{el} - Q_{GLAS} - Q_E - Q_X \quad (4)$$

Es handelt sich sämtlich um sofort verfügbare und/oder berechenbare Werte, und nach Einfügung von  $Q_{WLKO}$  (3) in (1) läßt sich auch der Wärmestrom  $Q_{GB}$  vom Oberofen zum Bassin bestimmen und - vor allem - regelungstechnisch kurzfristig beeinflussen.

Die besagte Gesamtwärmebilanz gibt Aufschluß über die Summe der Wand-, Kühl- und Leckverluste. Von der Summe der gesamten Wand-, Kühl- und Leckverluste werden sodann die Verluste des Unterofens subtrahiert. Die Verluste des Unterofens sind reine Wand- und Kühlverluste und aufgrund verhältnismäßig stabiler Temperaturen nahezu konstant, außerdem ist ihr prozentualer Anteil an den Gesamtverlusten relativ niedrig. Bei Abweichungen der Aussenwandtemperatur des Unterofens und/oder der Umgebungsluft wird ihr Wert korrigiert. Leckverluste treten am Unterofen nicht auf.

Die so ermittelten Wand-, Kühl- und gegebenenfalls Leckverluste werden jeweils in eine Wärmebilanzrechnung des Oberofens und des Unterofens eingesetzt. Aus der Oberofenbilanz kann nun der Wärmestrom, der vom Oberofen durch den Schmelzenspiegel in das Glasbad eingebracht wird, exakt bestimmt werden, wie vorstehend aufgezeigt wurde.

Dieser Wärmestrom wird nun mit einem errechneten Sollwert aus der Wärmebilanz des Unterofens verglichen, die sich aus dem Durchsatz, aus der Gemengezusammensetzung, aus dem Scherben- und Gemengeverhältnis, aus den Wandverlusten des Unterofens und aus der Solltemperatur der Glasschmelze am Durchlaß ergibt, gegebenenfalls abzüglich der in den Unterofen eingespeisten Elektroenergie. Für die Gemengezusammensetzung kann der endotherme Energiewert, d.h., die Energiemenge, die zur Dissoziation der Karbonate und zur Silikatbildung benötigt wird, ebenfalls bestimmt werden.

Das erfindungsgemäße Regelverfahren führt im einzelnen zu folgenden Vorteilen:

Wie bereits weiter oben erläutert wurde, müssen bei der bekannten Betriebsweise eines Glas-Wannenofens überschüssige Energiemengen zugeführt werden, um sicherzustellen, daß bei einem geringen Wärmestrom aufgrund einer Schaumbildung auf dem Glasbad eine ausreichende Glasqualität erreicht wird. Bei der erfindungsgemäßen Regelung des benötigten Wärmestroms ist ein Überschuß an zugeführter Energie nicht mehr erforderlich, so daß eine erhebliche Einsparung im Energieverbrauch eintritt, die zwischen etwa 5 und 10 % des gesamten Energiebedarfs liegt.

Neben der Energieeinsparung ergeben sich weitere Vorteile, die sich auf die Ausregelung des gesamten Prozesses beziehen. Wie bereits gesagt, ist bei der erfindungsgemäßen Regelung ständig der Wärmestrom als Regelgröße verfügbar. Wenn nun der Wärmestrom bei konstanter Energiezufuhr zum Oberofen fällt, müssen zwangsläufig die Abgasverluste und/oder die Wand-, Kühl- und Leckverluste im Oberofen ansteigen. Ein solches Verhalten ist alsdann eindeutig auf eine Schaumbildung auf dem Schmelzenspiegel zurückzuführen. Damit ist das Verhältnis zwischen dem Wärmestrom einerseits und der dem Oberofen zugeführten Energiemenge andererseits bereits ein Maß für die Menge an Schaum, der sich auf der Schmelzenoberfläche gebildet hat. Eine Regelung kann in diesem Falle auch dadurch erfolgen, daß das Verhältnis von Brennstoff zu Luft, der sogenannte Lambda-Wert, geändert wird.

Bei reduzierender Atmosphäre im Oberofen ist erfahrungsgemäß die Schaumbildung geringer, so daß der Sauerstoffgehalt im Abgas im Rahmen realistischer Möglichkeiten bis auf einen Grenzwert reduziert werden kann. Ist eine Reduzierung des Sauerstoffgehalts auf ein Minimum nicht für eine genügende Reduzierung der Schaummenge ausreichend, kann der Lambda-Wert noch weiter abgesenkt werden und zusätzlich kann vor dem Rekuperator oder Regenerator etwas Frischluft dem Abgas beigemischt werden. Damit ist beim erfindungsgemäßen Verfahren zum ersten Mal die Möglichkeit gegeben, die Schaumbildung beim Schmelzprozeß unmittelbar ohne manuelles Eingreifen zu verringern.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Regelverfahrens liegt im Optimieren des Verhältnisses zwischen der eingespeisten elektrischen Energie in die Glasschmelze und der Brennerbeheizung des Oberofens mit fossilen Brennstoffen nach Kostengesichtspunkten. Die Einspeisung elektrischer Energie in das Glasbad erfolgt mit einem Wirkungsgrad von nahezu 100 %, abzüglich der Kühlverluste für die Elektrodenhalter, so daß je nach der eingespeisten Energiemenge mit einem Energiewirkungsgrad von 95 bis 98 % bei der Elektrobeheizung gerechnet werden kann.

Die Wirtschaftlichkeit der Brennerbeheizung im Oberofen wird durch den feuerungstechnischen Wirkungsgrad bestimmt. Wenn zur Erhöhung des Wärmestroms auf das geforderte Maß höhere Kosten durch die Erhöhung der Brennstoffmenge entstehen als über ein Einspeisen der Energie durch Strom in den Unterofen, ist es günstiger, die elektrische Energiemenge zu erhöhen und die Brennstoffmenge konstant zu halten und umgekehrt.

Werden beispielsweise die Kosten für Strom und Heizgas in einen Rechner eingegeben, so ist dieser jederzeit mittels einer geeigneten Software in der Lage, das optimale Verhältnis zwischen der Befuerung des Oberofens durch Gas und der Einspeisung elektrischer Energie in den Unterofen festzulegen.

So ergibt sich z.B. aus Stromkosten von 0,13 DM/kWh und Gaskosten von 0,03 DM/kWh und einem Wirkungsgrad des eingesetzten Stroms von 95 %, daß es bei einem Unterschreiten des Wärmestroms, dieser 24,3 % der eingegebenen Wärmeenergie ausmacht, es günstiger ist, Strom statt Gas einzusetzen.

Auch diese Art der Regelung kann von dem angesprochenen Prozeßregler zusätzlich ausgeführt werden. Der geschilderte Fall kann durchaus eintreten, wenn sehr hohe Feuerraumbelastungen erforderlich werden, beispielsweise bei Maximallast der Wanne, oder wenn sehr viel Schaum auf dem Glasbad entstanden ist, welcher sich nicht entfernen läßt.

Ein weiterer Vorteil des Erfindungsgegenstandes ist der, daß die Glasqualität exakter vorherbestimmbar ist, als dies mit den bekannten Regelverfahren möglich war. Das Glasschmelzen ist ein Zeit- und Temperaturprozeß. Bei den bekannten Verfahren sind üblicherweise weder die Verweilzeit noch die Temperaturen konstant zu halten. Mit dem erfin-

5 dungsgemäßen Regelverfahren und der Konstanzhaltung des Wärmestroms ergibt sich im laufenden Betrieb, daß die Glasbadtemperaturen im Mittel absolut konstant bleiben, d.h., daß bei konstantem Durchsatz eine gleichbleibende Qualität erzielt wird. Bei Änderungen des Durchsatzes ändert sich naturgemäß die mittlere Verweilzeit des Glases in der Anlage, wobei bei mäßigen Abweichungen das Verhältnis zwischen minimaler Verweilzeit zu mittlerer Verweilzeit bei ein und derselben Wanne relativ konstant bleibt.

10 Wenn die mittlere Verweilzeit, die sich aus dem Volumen des Bassins und dem durchgesetzten Volumen pro Zeiteinheit ergibt, in Relation zum Wärmestrom gesetzt wird, ist es möglich, eine kürzere Verweilzeit durch einen höheren Wärmestrom zu kompensieren, so daß auch bei sich ändernden Durchsätzen der Wanne durch Änderungen des Wärmestroms unter Berücksichtigung der mittleren Verweilzeit die gleiche Qualität wie bei anderen Wannenbelastungen aufrechterhalten werden kann.

15 Dies bedeutet allerdings, daß die Glasktemperatur hinter dem Durchlaß mit jedem Durchsatz einen anderen Wert annimmt. Mit welchem Faktor der spezifische Wärmestrom multipliziert werden muß, um sich ändernde mittlere Durchlaufzeiten zu kompensieren, ist für jede Wanne spezifisch, kann aber durch einfache Versuche herausgefunden werden.

20 Das erfindungsgemäße Verfahren läßt sich auch bei Glasschmelzwannen mit mehreren Zonen anwenden. Wenn die Zwischentemperaturen zwischen den Zonen sowohl im Oberbau als auch im Bassinbereich bekannt sind oder relativ genau abgeschätzt werden können, ist es durchaus möglich, das erfindungsgemäße Verfahren für jede einzelne Zone dieser Wanne getrennt anzuwenden. Dabei kann die Schmelze und der Läuterprozeß getrennt bilanziert und beeinflusst werden, was zu einer weiteren Optimierung des Glasschmelzprozesses führt.

25 Ein Ausführungsbeispiel des Erfindungsgegenstandes wird nachfolgend anhand der Figuren 1 bis 3 näher beschrieben.

Es zeigen:

25 Figur 1 einen Längsschnitt durch eine Glasschmelzanlage bis zum Auslauf in Verbindung mit einer Regel- und Schaltungsanordnung für die Erfassung der einzelnen Fühlersignale und für die Ansteuerung verschiedener Stellglieder für Gasbrenner, Bodenelektroden, Frischluftzufuhr und Chargiervorrichtung für die Rohstoffe,

Figur 2 eine vereinfachte Darstellung einer Glasschmelzanlage analog Figur 1, und

30 Figur 3 ein Energieflußdiagramm in Prinzipdarstellung.

35 In Figur 1 ist ein Glas-Wannenofen 1 dargestellt, der aus einem Oberofen 2 mit einer Decke 3 und einem Unterofen 4 mit einem Boden 5 besteht. Über dem Boden 5 befindet sich ein Bassin 6, in dem sich eine Glasschmelze 7 mit einem Schmelzenspiegel 8 befindet.

40 Beiderseits des Bassins befindet sich in spiegelsymmetrischer Anordnung je eine Chargieröffnung 9, von denen hier nur eine sichtbar ist. Jeder Chargieröffnung ist eine Einlegevorrichtung 10 zugeordnet, die hier nur gestrichelt dargestellt ist. Zur Einlegevorrichtung 10 gehört ein Stellglied 11 für die Mengenregulierung, das hier nur durch einen Pfeil angedeutet ist. Im Boden 5 befindet sich ein Paar von Heizelektroden 12, das stellvertretend für mehrere Paare von Heizelektroden stehen kann, und dessen Leistung durch ein bekanntes Stellglied 13 einstellbar ist.

45 Dem Glas-Wannenofen 1 sind in spiegelsymmetrischer Anordnung zwei Regenerativ-Wärmetauscher 14 vorgeschaltet, von denen nur einer sichtbar und im Schnitt dargestellt ist. Die Verbindung besteht aus je einem Abgaskanal 15, der alternierend als Zuluftkanal für vorgewärmte Verbrennungsluft und als Abgaskanal für die Ofenatmosphäre dient. Durch alternierendes Umschalten der beiden Wärmetauscher und der zugehörigen Brenner werden, in dessen Gas- und Luftzuleitung je ein Stellglied 17 bzw. 18 in Form eines Regelventils angeordnet ist. Ein im unteren Bereich des Schmelzenspiegel 8 U-förmige Flammen ausgebildet, die durch je einen Brenner 16 erzeugt werden, in dessen Gas- und Luftzuleitung je ein Stellglied 17 bzw. 18 in Form eines Regelventils angeordnet ist. Ein im unteren Bereich des Wärmetauschers 14 angeordneter weiterer Abgaskanal 19 dient in gleicher Weise alternierend zur Zufuhr kalter Verbrennungsluft und zur Abfuhr teilweise abgekühlter Ofenatmosphäre. Die Bau- und Betriebsweise derartiger Regenerativ-Wärmetauscher 14 ist bekannt und wird daher nicht weiter erläutert. In diesen Wärmetauscher mündet noch eine Zufuhrleitung 20 mit einem weiteren Stellglied 21 in Form eines Regelventils für Frischluft.

50 Das andere Ende des Glas-Wannenofens 1 ist über einen Durchlaß 22 und einen Riser 23 mit einem Auslauf 24 verbunden, der zu einer Arbeitswanne oder zu einem Verteilerkanal führt, an den gegebenenfalls mehrere Vorherde angeschlossen sind.

Soweit dies die Temperatur- und anderen Meßfühler betrifft, wird folgendes ausgeführt:

55 Dem Oberofen 2 bzw. dessen Decke 3 sind Temperaturfühler 25 für die Messung der Temperatur der Innenfläche 3a der Decke 3 zugeordnet. Ein weiterer Temperaturfühler 26 mißt die Temperatur der Außenfläche 3b der Decke 3. Ein weiterer Temperaturfühler 27 mißt die Temperatur der Umgebungsluft über der Decke 3.

Dem Unterofen 4 bzw. dessen Boden 5 sind ein Temperaturfühler 28 für die Erfassung der Temperatur der inneren Bodenfläche 5a und ein weiterer Temperaturfühler 29 für die Erfassung der äußeren Bodenfläche 5b zugeordnet, wei-

terhin ein Temperaturfühler 30 für die Erfassung der Umgebungstemperatur.

Im Abgaskanal 15 ist ein Temperaturfühler 31 angeordnet, der zur alternativen Erfassung der Temperatur der Verbrennungsluft einerseits und des Abgases andererseits dient. Im Wärmetauscher 14 ist ein Meßfühler 32 in Form einer Sonde angeordnet, die den Sauerstoffgehalt bestimmt. Im Auslauf 24 des Unterofens 4 ist ein weiterer Temperaturfühler 34 für die Bestimmung der Temperatur der abgezogenen Glasschmelze 7a angeordnet. In der Nähe dieses Temperaturfühlers befindet sich im Auslauf 24 des Unterofens 4 ein Meßfühler 35 für die Strömungsmenge bzw. Strömungsgeschwindigkeit, aus der sich die Strömungsmenge bestimmen läßt. Sämtliche Meßsignale sind mittels der in Figur 1 dargestellten Leitungen einzelnen Eingängen einer Regelanordnung 36 aufgeschaltet, wobei die Eingänge durch Pfeilspitzen dargestellt sind. Die Regelanordnung 36 besitzt einen Rechner 37 mit nicht näher dargestellten Datenspeichern, eine Anzeigeeinheit 38 (Display) und eine Eingabetastatur 39, mit der feste, anlagenspezifische Daten, Korrekturfaktoren und Operationsbefehle eingegeben werden können. In der Regelanordnung 36 werden die aufgeschalteten Fühlersignale im Rechner 37 in der Weise verknüpft, daß aus sämtlichen eingegebenen Daten die Wärmestromdichte durch den Schmelzenspiegel 8 bestimmt wird. Die Regelanordnung 36 besitzt weiterhin fünf Ausgänge, die in Figur 1 durch je einen Punkt dargestellt sind, und die zu den Stellgliedern 11, 13, 17, 18 und 21 führen. Dadurch sind alle wesentlichen Betriebsparameter des Glas-Wannenofens 1 beeinflussbar, und zwar in Abhängigkeit von mindestens einem Teil der Fühlersignale, wie dies in der allgemeinen Beschreibung angegeben wurde.

In Figur 1 ist das auf den Schmelzenspiegel 8 aufdosierte Chargiermaterial 40 dargestellt. Zur Bestimmung der Feuchte des Chargiermaterials ist der Einlegevorrichtung 10 noch ein Meßfühler für die Feuchtigkeit zugeordnet, dessen Ausgang gleichfalls der Regelanordnung 36 aufgeschaltet ist. Diese Einzelheiten sind jedoch nicht dargestellt.

Zur Bestimmung der Brennstoffmenge und der Luftmenge für den Brenner 16 können die Stellsignale für die Stellglieder 17 und 18 verwendet werden. Die Signalverarbeitung findet im Innern der Regelanordnung 36 statt und ist daher hier nicht besonders dargestellt. Die Glasdurchsatzmenge kann entweder manuell eingegeben oder mit einer Meßapparatur hinter dem Riser 23 gemessen werden.

In Figur 2 ist in vereinfachter Darstellung und unter Verwendung der gleichen Bezugszeichen wie in Figur 1 eine Glasschmelzanlage dargestellt, deren Glas-Wannenofen 1 durch eine stirnseitige Einlegevorrichtung 10 beschickt wird. Ein Mengenmeßgerät 11a für die Menge des Beschickungsguts ist durch ein Kästchen angedeutet. Zwei Abgaskanäle 15, von denen nur einer sichtbar ist, sind spiegelsymmetrisch beiderseits der Wannen-Längsachse angeordnet. Beiderseits dieser Längsachse befindet sich mindestens je ein Brenner 16, von denen gleichfalls nur einer dargestellt ist. Die Mengen von Oxidationsgas und Brennstoff werden durch Mengenmeßgeräte 16a und 16b erfaßt, die zugehörigen Temperaturen durch Temperaturfühler 16c und 16d. Die Temperaturfühler 29 und 30 dienen zur Erfassung der Wandverluste des Unterofens 4.

Die Leistung des Heizelektrodenpaares 12 wird durch ein Stellglied 13 geregelt oder gesteuert. Der Strom-Istwert wird durch ein Strommeßgerät 13a der Regelanordnung 36 aufgeschaltet. Wie bei solchen Regelanordnungen üblich, können die Istwerte der einzelnen Regelgrößen auch durch die Stellglieder gewonnen werden, was auch für alle anderen Regelgrößen gilt.

Es ist Figur 2 insbesondere zu entnehmen, daß es keiner langfristig ansprechenden Temperaturfühler in der Glasschmelze 7 bedarf, um die Anlage zu regeln.

Figur 3 zeigt - nicht maßstäblich - die einzelnen Wärmebilanzen bzw. Wärmeströme:  $Q_{GB}$  ist der Wärmestrom vom Oberofen 2 durch den Schmelzenspiegel 8 zum Unterofen 4.  $Q_B$  ist der Wärmeinhalt der Brennstoffmenge,  $Q_A$  die Enthalpie der im Wärmetauscher 14 vorgewärmten Verbrennungsluft.  $Q_{WLKO}$  ist die Summe aller Wand-, Leck- und Kühlverluste des Oberofens 2, wobei die Wandverluste durch die Umgebungsluft, die Leckverluste durch Undichtigkeiten des Ofens und die Kühlverluste beispielsweise durch eine Brennerkühlung entstehen.  $Q_X$  sind die mit den Abgasen entweichenden Abgasverluste.

Aus dem Wärmetauscher 14 strömen die Abgase in einen Gutvorwärmer 14a. Die nicht wiedergewinnbaren Abgasverluste sind mit  $Q_V$  bezeichnet.  $Q_C$  ist die Enthalpie des vorgewärmten Chargiermaterials bzw. des festen Beschickungsguts, die mit diesem dem Unterofen 4 zugeführt wird.

$Q_{el}$  ist die dem Unterofen 4 zugeführte elektrische Heizleistung, falls Heizelektroden vorhanden sind.  $Q_E$  ist die endotherme Schmelzwärme und die Energie zum Zersetzen von Karbonaten und zur Bildung von Silikaten.  $Q_{WKB}$  sind die praktisch konstanten Wand- und Kühlverluste des Unterofens, wobei die Kühlverluste durch Kühlung der Elektrodenhalter entstehen.  $Q_{Glas}$  ist die Enthalpie des geschmolzenen Glases, die mit dem Glas in angeschlossene Aggregate wie Verteiler- und Arbeitswannen, Speiser und Glas-Verarbeitungsmaschinen weitergeleitet wird.

#### Bezugszeichenliste:

- |    |    |                   |
|----|----|-------------------|
| 55 | 1  | Glas-Wannenofen   |
|    | 2  | Oberofen          |
|    | 3  | Decke             |
|    | 3a | Innenfläche Decke |
|    | 3b | Außenfläche Decke |

4	Unterofen
5	Boden
5a	Innere Bodenfläche
5b	Äußere Bodenfläche
5 6	Bassin
7	Glasschmelze
7a	Abgez. Glasschmelze
8	Schmelzenspiegel
9	Chargieröffnung
10 10	Einlegevorrichtung
11	Stellglied
11a	Mengenmeßgerät
12	Heizelektrodenpaar
13	Stellglied
15 13a	Strommeßgerät
14	Wärmetauscher
15	Abgaskanal
16	Brenner
16a	Mengenmeßgerät
20 16b	Mengenmeßgerät
16c	Temperaturfühler
16d	Temperaturfühler
17	Stellglied
18	Stellglied
25 19	Abgaskanal
20	Zufuhrleitung
21	Stellglied
22	Durchlaß
23	Riser
30 24	Auslauf
25	Temperaturfühler
26	Temperaturfühler
27	Temperaturfühler
28	Temperaturfühler
35 29	Temperaturfühler
30	Temperaturfühler
31	Temperaturfühler
32	Meßfühler
34	Temperaturfühler
40 35	Meßfühler
36	Regelanordnung
37	Rechner
38	Anzeigeeinheit
39	Eingabetastatur
45 40	Chargiermaterial

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung der Beheizung von Glas-Wannenöfen (1) mit einem Oberofen (2) und einem Unterofen (4),  
 50 in dem aus Chargiermaterial (40) eine Glasschmelze (7) mit einem Schmelzspiegel (8) gebildet und daraus abgezogen wird, mit mindestens einem dem Oberofen (2) zugeordneten Brenner (16), durch den eine zum Schmelzen erforderliche Energiemenge eingebracht wird, wobei Temperaturen und Mengen von Brennstoff, Verbrennungsluft und Beschickungsgut und Wärmemengen der Glasschmelze (7) bestimmt werden, **dadurch gekennzeichnet,**  
 55 daß laufend aus schmelztechnischen Daten und konstruktionsbedingten thermischen Daten des Glas-Wannenofens (1) ein Wärmestrom durch den Schmelzenspiegel (8) berechnet wird, wobei

- a) zunächst ständig eine Gesamtwärmebilanz für den gesamten Ofen (1) errechnet wird,
- b) von in der Gesamtwärmebilanz enthaltenen und errechneten Wand-, Kühl- und Leckverlusten die ofenbedingten, nahezu unveränderlichen Wand- und Kühlverluste des Unterofens (4) abgezogen werden,

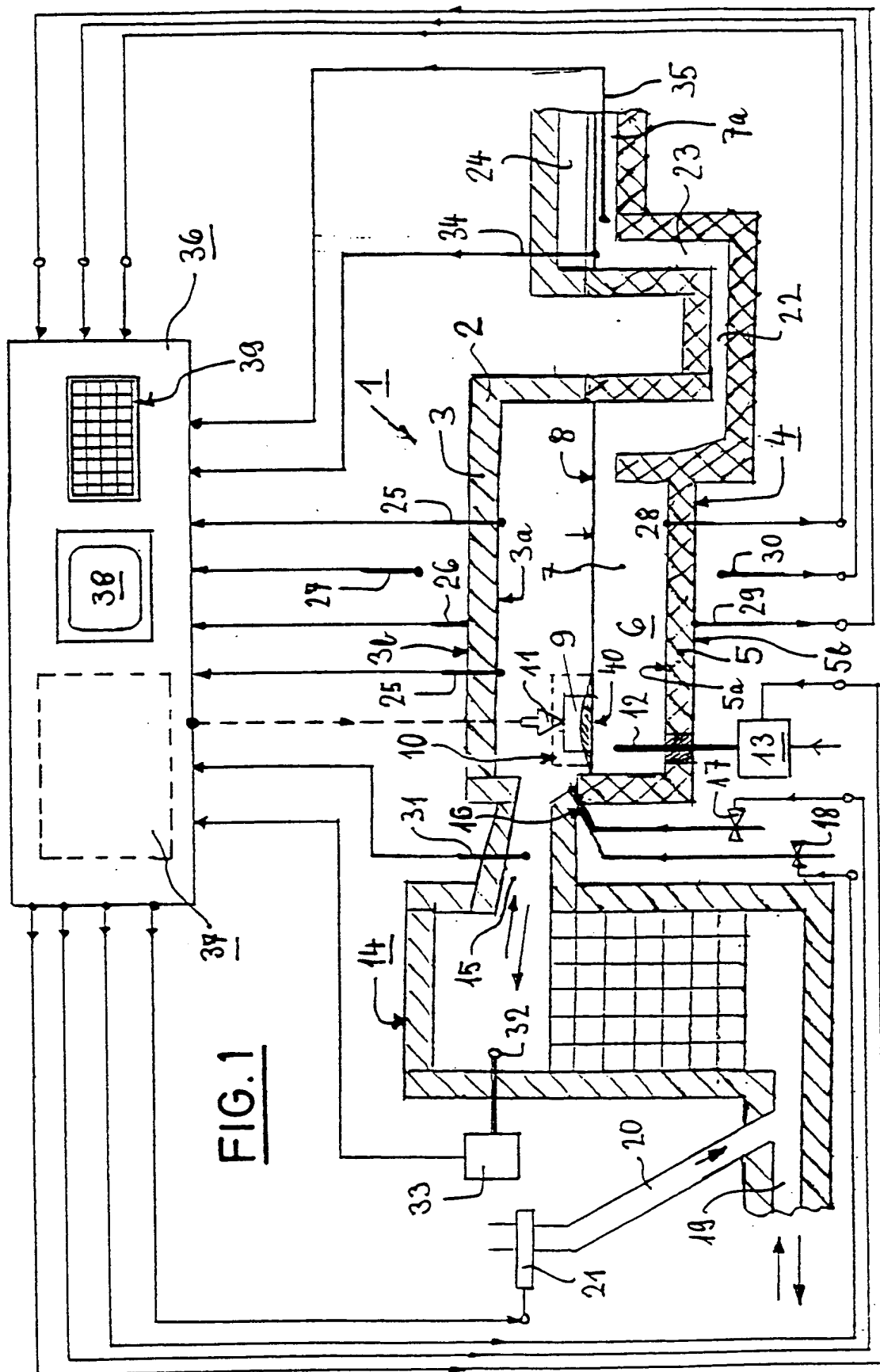


c) aus einer Wärmebilanz des Oberofens (2) ein Istwert für den Wärmestrom berechnet wird, der an die Glasschmelze (7) übergeben wird,

d) aus einer Wärmebilanz des Unterofens (4) ein Sollwert für den Wärmestrom errechnet wird, der an die Glasschmelze (7) übergeben und der ständig mit dem unter c) genannten Istwert für den Wärmestrom verglichen wird, und daß

e) die Differenz der beiden Werte durch Änderung der Energiezufuhr verzögerungsfrei auf einen kleinstmöglichen Wert ausgeregelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Ausregelung der Abweichungen zwischen Istwert und Sollwert des Wärmestroms mindestens teilweise durch Leistungsregelung mindestens eines in der Glasschmelze befindlichen Heizelektrodenpaares (12) durchgeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Bestimmung der Wärmebilanz des Unterofens (4) aus dem Durchsatz an Glasschmelze, der Gemengezusammensetzung, den thermischen Wandverlusten des Unterofens (4), der Solltemperatur der Glasschmelze (7a) am Auslauf (24) zu einer Arbeitswanne oder zu einem Verteilerkanal abzüglich der gegebenenfalls unmittelbar in die Glasschmelze eingespeisten elektrischen Heizenergie und der Enthalpie des zugeführten Schmelzgutes durchgeführt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Bestimmung der Wärmebilanz des Oberofens (2) aus der zugeführten Verbrennungsenergie, der über Vorwärmer für Beschickungsgut und Verbrennungsluft rückgeführten Abgaswärme, Wand-, Leck- und Kühlverluste und der Abgasverluste durchgeführt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Abgasmenge aus der Brennstoffmenge, der Verbrennungsluftmenge, dem Sauerstoffanteil des Abgases und aus den Gemengegasen errechnet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** zur Berechnung der Abgasenthalpie die Abgasmenge, ihre Temperatur und die spezifischen Wärmehalte der Abgasbestandteile herangezogen werden.
7. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Regelung durch Veränderung des Verhältnisses von Brennstoff zu Luft (Lambda-Wert) im Oberofen (2) durchgeführt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** zwecks Herbeiführung reduzierenden Betriebsbedingungen der Sauerstoffgehalt der Abgase des Oberofens (2) gemessen und auf einen vorgegebenen Minimalwert geregelt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** zwecks Minimierung der Heizkosten das Verhältnis der Brennstoffzufuhr zur Elektrobeheizung nach Maßgabe der Kosten für die jeweilige Energieeinheit gewählt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Sollwert des Wärmestroms vom Oberofen (2) zum Unterofen (4) nach Maßgabe des Massendurchsatzes der Glasschmelze (7) im Unterofen (4) gewählt wird, derart, daß ein höherer Durchsatz durch eine höhere spezifische Wärmestromdichte kompensiert wird und umgekehrt.



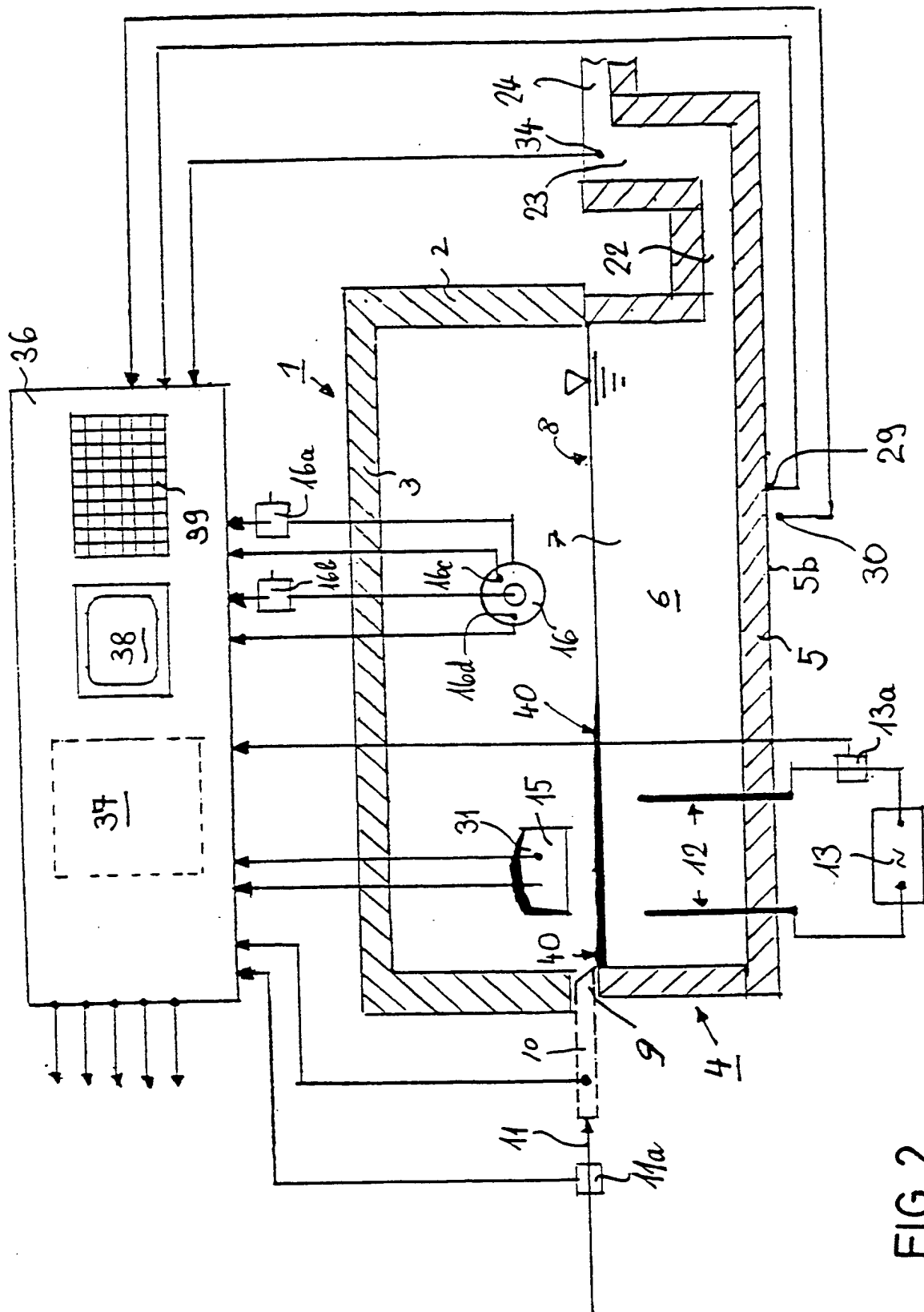


FIG. 2

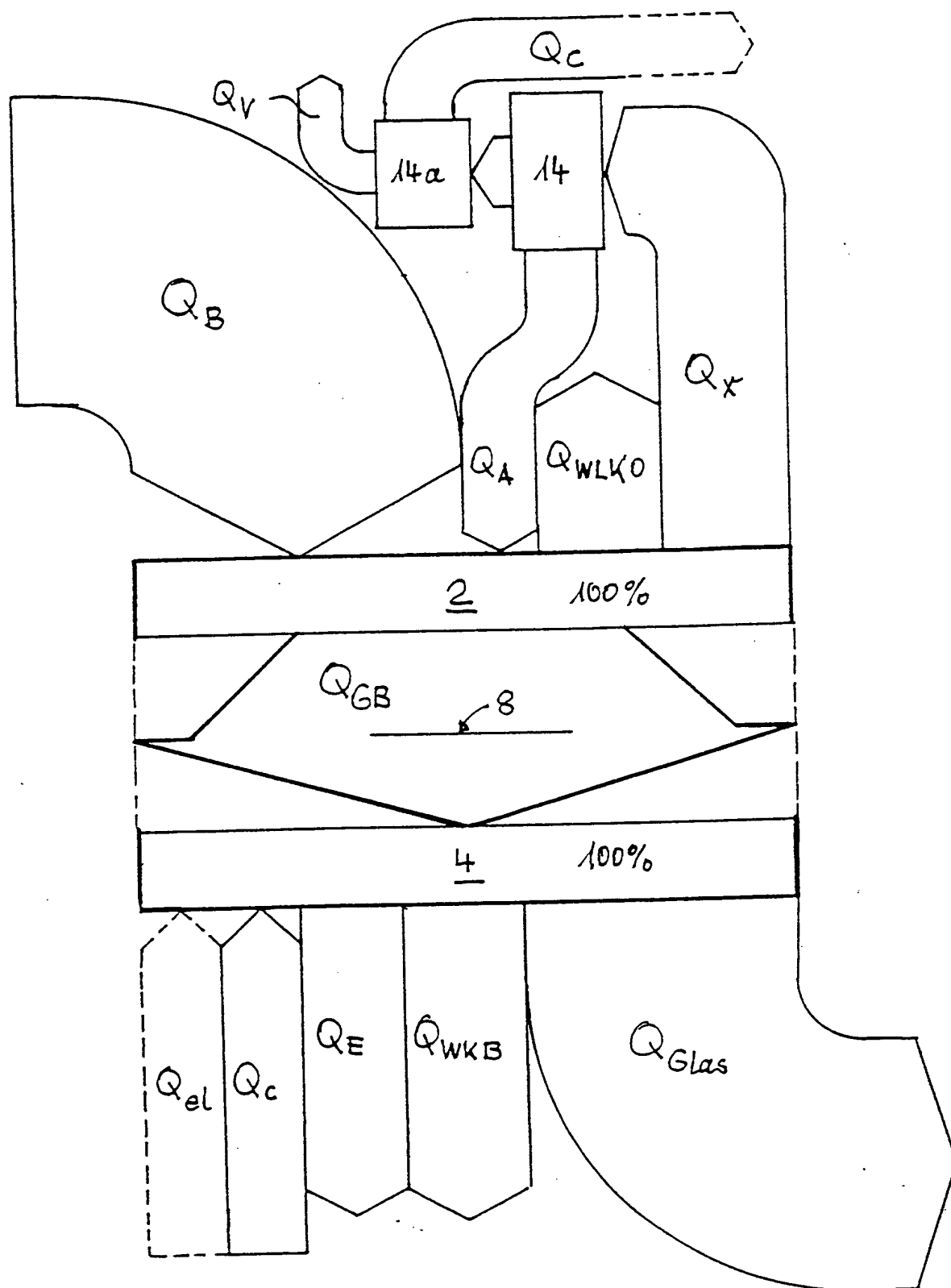


FIG. 3

RAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 563200  
FR 9809706

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	EP 0 748 773 A (BETEILIGUNGEN SORG GMBH) 18 décembre 1996 * le document en entier *	1
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)
		C03B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
12 avril 1999		Van den Bossche, W
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. O : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons 3 : membre de la même famille, document correspondant</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p>		

FA 563200  
FR 9809706

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets,  
ni de l'Administration française

12-04-

12-04-1999

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 748773      A	18-12-1996	DE 19521513 A	19-12-1996
		AT 176218 T	15-02-1999
		DE 59601212 D	11-03-1999